



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目

Biorefinery Co-Products

Phytochemicals, Primary Metabolites and Value-Added Biomass Processing



《新能源出版工程》丛书共 23 分册，分别论述太阳能、风能、生物质能、海洋能、核能、新能源汽车、智能电网和煤制油等新能源相关领域的理论研究和关键技术

生物炼制产品 与技术

[美] 钱特尔·伯杰龙 (Chantal B

[美] 丹尼尔·朱莉·卡里尔 (Danielle Julie Carrier) 主编

[美] 施里·拉马斯瓦米 (Shri Ramaswamy)

鲍杰 高秋强 张建 曹学君 邓红波 译

上海科学技术出版社





国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目



生物炼制产品与技术

Biorefinery Co-Products

Phytochemicals, Primary Metabolites and Value-Added Biomass Processing

钱特尔·伯杰龙 (Chantal Bergeron)

[美] 丹尼尔·朱

e Carrier) 主编

施里·拉马

)

鲍杰 高秋 洪波 译



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物炼制产品与技术/(美)伯杰龙,(美)卡里尔,
(美)拉马斯瓦米主编;鲍杰等译. —上海:上海科学
技术出版社,2013.1

(新能源出版工程)

书名原文: Biorefinery Co-Products

ISBN 978-7-5478-1568-7

I. ①生… II. ①伯… ②卡… ③拉… ④鲍… III.
①工业微生物学 IV. ①Q939.97

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第272910号

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Shanghai Scientific & Technical Publishers and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本787×1092 1/16 印张22.75 插页4

字数:510千字

2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-1568-7/TK·9

定价:98.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

生物炼制是利用农业废弃物、植物基淀粉和木质纤维素材料为原料,生产各种化学品、燃料和生物基材料。为了提高生物能源作为一种可持续能源来源的竞争力,必须要通过生物质精炼生产联产品来体现生物质的价值,特别是在生物质转化过程之前或之后提取特种化学品和其他生物基产品,从而提高整体的盈利能力和可持续发展的生物炼制。本书的主要内容包括:从木质生物质中获得生物活性化合物;从甘蔗、柑橘类废物和藻类植物中获得化学物质;从玉米和其他油籽作物中获得有价值的产品;从牧草中获得蛋白质;加强对现有的生物处理流的价值。

本书可供从事生物炼制行业的专家、学者、企业家,以及高等学校和科研机构的研究人员阅读。

《新能源出版工程》

学术顾问 (以姓氏笔画为序)

阮可强	中国工程院院士
严陆光	中国科学院院士
杨裕生	中国工程院院士
林宗虎	中国工程院院士
倪维斗	中国工程院院士
徐大懋	中国工程院院士
翁史烈	中国工程院院士
黄其励	中国工程院院士
潘 垣	中国工程院院士

《新能源出版工程》

编委会

主 任

倪维斗

委 员(以姓氏笔画为序)

毛宗强 朱 军 贡 俊 李 春

张家倍 张德祥 周凤翱 徐洪杰

殷承良 閻耀保 喜文华 董长青

董亲翔 鲍 杰 戴松元

作者序

人类社会正在进入一个以可再生能源补充甚至替代石油的振奋人心的时代。在可再生能源领域,科学家已经证实生物质可转变为电能和其他液体燃料。采用热化学方法、生物转化方法或两者结合,可将木质纤维素原料转化为燃料、化学品和其他生物质产品。生物转化技术主要是将生物质中的纤维素和半纤维素组分水解,然后发酵水解所得的糖来生产生物燃料以及生物基化学品。热化学转化技术则是利用高温将生物质气化,将纤维素、半纤维素和木质素高温气化得到合成气,然后催化 CO 、 CO_2 和 H_2 , 转化为液体燃料。生物质还可以经快速热裂解转化为生物裂解油。

视转化技术不同,生产 37 亿 L 液体燃料需要干基生物质原料 1 000 万~2 500 万 t。据统计,美国每年约有 10 亿 t 的干基生物质可用于生产液体燃料,可以满足液体燃料总需求的 30%。按每吨干基生物质可生产 300 L 的燃料乙醇计算,生产 2 亿 L 的液体生物燃料,每天约需要 2 000 t 的干基生物质。目前,虽然利用粮食作物生产生物燃料实现了一定的商业化,但纤维素乙醇的商业化生产还有待于进一步的推广。

值得注意的是,本书中所讨论的生物质一般来说都是非粮生物质,更确切地说,是非粮农业废弃物、废弃资源或者能源作物。从可持续性发展和多样性发展的角度出发,用于生物炼制的生物质转化设施通常位于农村地区,以便于获取生物质原料。而在农村建立生物炼制产业,也能在一定程度上刺激农村经济的发展。同时,生物炼制产业具有广泛的季节适应性,因此全年都有原料供应,相关的供应链每天可以提供约 2 000 t 不同种类的生物质原料。而根据季节的不同,可以分别选用草本植物、一年生植物和木质生物质等作为生物炼制的原料。

在这些生物质中,还含有一些有用的植物化学品、蛋白质或其他高附加值产品,可在加工前后提取出来。生物炼制的生物基制品以及石油替代产品正变得越来越重要,生物炼制过程除了生物燃料和生物能源之外,对生物基副产品的增值也应当给予相应的重视,以适应未来的生物应用前景。植物化学品可以用于保健品、化妆品以及绿色清洁产品的生产。进一步市场调查显示,消费者在食品、个人护理和日用品的使用中,越来越倾向于选择含有植物

化学品的产品。而植物化学品在香料行业中的应用预计也会有进一步的增长,其中包括饮料、糖果糕点、风味小吃、乳制品和制药等。

本书的目的是向读者介绍利用生物质来生产能源,同时在可行的条件下,提取其中的增值型生物基化学品。前三章分别向读者概述了生物质转化技术、植物化学品以及分离工艺。随后,着重介绍了若干种生物炼制原料,它们既是良好的生物质资源,又含有高附加值的化学品。介绍了现有粮食供应链、藻类和废渣中的植物化学品,同时考虑到巴西乙醇工业的重要性以及世界范围内糖类的广泛性,将甘蔗渣也作为一种植物化学品的来源。还提出了从柳枝稷中提取蛋白质的可行性,调查了生长在加拿大和斯堪的纳维亚半岛地区的木本原料中的植物化学品。最后指出,造纸厂和热解过程的工艺流程是值得关注的增值型化学品的来源。

我们希望本书将继续探讨利用生物质来生产燃料和能源、提取高附加值产品,进而提高生物炼制的可持续性和经济可行性,有助于实现其商业化生产。

钱特尔·伯杰龙 丹尼尔·朱莉·卡里尔 施里·拉马斯瓦米

译者序

生物炼制已经成为世界范围内重要的新兴产业方向。中国作为世界上最大的农业国和生物质生产国,有着极为丰富的生物质资源。因此,开展以农产品、农作物废弃物和林业废弃物等生物质资源为原料的生物炼制产业,对于国民经济的可持续发展,对于振兴农村经济和改善农村生态环境,对于实现国家的二氧化碳减排目标,都有着特别重要的意义。本书是美国 Wiley 出版集团编辑出版的“可再生资源”(Renewable Resources)丛书中的一本,由美国 Tom's of Maine 公司的钱特尔·伯杰龙博士、阿肯色大学的丹尼尔·朱莉·卡里尔教授和明尼苏达大学的施里·拉马斯瓦米教授共同主编,邀请了业内众多知名专家撰写的一本专著。本书对来自植物生物质的各种生物炼制技术和产品进行了详细阐述,对从事生物炼制行业的专家、学者、企业家,对来自高等学校和研究机构的研究人员、教师和研究生,对政府相关机构的官员和代表,都具有重要的参考价值。

本书是在上海科学技术出版社的组织下,由华东理工大学生物反应器工程国家重点实验室和中石油吉林燃料乙醇有限责任公司的数位从事生物炼制研究的教师和工程技术人员完成翻译。其中,第 1、2 章由鲍杰教授翻译,第 6、8、9、10、15 章由高秋强博士翻译,第 11、13、14 章由张建博士翻译,第 3、7、12 章由曹学君教授翻译,第 4、5 章由邓红波高级工程师翻译,最后由鲍杰教授进行全书的校对。华东理工大学生物反应器工程国家重点实验室的部分研究生也参与了本书的翻译和校对工作。由于时间紧迫、水平有限,翻译稍嫌仓促,其中难免有错误和不当之处,请读者不吝批评指正。

译者

于华东理工大学生物反应器工程国家重点实验室

目 录

第 1 章 生物炼制技术综述 / 1
1.1 简介 / 1
1.2 原料 / 2
1.3 生物质的热化学转化 / 3
1.3.1 快速裂解过程以及水热液化 / 4
1.3.2 气化 / 6
1.4 生物转化 / 9
1.4.1 预处理 / 10
1.4.2 酶水解 / 11
1.4.3 发酵 / 12
1.4.4 预处理前的前处理 / 13
1.5 结论 / 13
参考文献 / 14
第 2 章 植物初级和次级代谢产物与化学原理 / 19
2.1 引言 / 19
2.2 初级代谢产物 / 19
2.2.1 糖类 / 20
2.2.2 木质素 / 21
2.2.3 氨基酸、多肽和蛋白质 / 21
2.2.4 脂肪酸和脂质 / 22
2.2.5 有机酸 / 22
2.3 次级代谢产物 / 22
2.3.1 单酚与酚酸 / 23
2.3.2 多酚 / 23
2.3.3 萜烯 / 29
2.3.4 生物碱 / 32
2.4 单一化合物的稳定性 / 32

2.5 结论 / 33

参考文献 / 33

第3章 生物炼制中副产品植物素的分离及纯化 / 35

3.1 引言 / 35

3.2 常规分离方法 / 37

3.2.1 蒸汽蒸馏 / 37

3.2.2 常规固-液萃取 / 38

3.2.3 超声波辅助提取 / 39

3.2.4 微波辅助萃取 / 40

3.2.5 加压液相提取 / 41

3.3 超临界流体萃取 / 42

3.4 在生物炼制中从植物提取物和稀释溶液中分离纯化植物化学品 / 43

3.4.1 液-液萃取 / 43

3.4.2 薄膜分离 / 44

3.4.3 分子蒸馏 / 45

3.5 总结 / 46

参考文献 / 47

第4章 玉米生物基化学品的工艺展望 / 51

4.1 引言：玉米加工 / 51

4.1.1 干磨法 / 51

4.1.2 湿磨法 / 52

4.1.3 改良的湿磨法工艺 / 53

4.1.4 全粒法 / 55

4.1.5 改良的全粒法工艺 / 55

4.1.6 石灰蒸煮 / 57

4.2 玉米中的植物化学品 / 58

4.2.1 引言 / 58

4.2.2 植物甾醇类 / 59

4.2.3 类胡萝卜素 / 60

4.2.4 胺化物 / 61

4.3 玉米加工工艺对植物化学成分的影响 / 66

4.3.1 湿磨法和全粒法工艺得到的玉米纤维的研究 / 66

4.3.2 植物化学物质和石灰蒸煮的研究 / 76

4.4 结论 / 81

参考文献 / 82

第 5 章 谷物及油料作物的生物炼制副产品 / 88

- 5.1 引言 / 88
- 5.2 谷物 / 89
 - 5.2.1 小麦 / 90
 - 5.2.2 大麦 / 94
 - 5.2.3 高粱 / 95
- 5.3 油籽的生物炼制 / 96
 - 5.3.1 油与油籽基产品 / 98
 - 5.3.2 工业产品 / 99
- 5.4 结论 / 101
- 参考文献 / 102

第 6 章 大豆类生物活性产品 / 110

- 6.1 引言 / 110
 - 6.1.1 农业生物质的工业化应用 / 110
 - 6.1.2 生物炼制产品的加工处理 / 111
 - 6.1.3 增值性和可持续性 / 111
- 6.2 工业生物炼制中的副产品 / 112
 - 6.2.1 谷类和豆类工业加工产品 / 112
 - 6.2.2 豆科植物生物炼制产品——大豆 / 112
- 6.3 生物炼制产品的提取技术 / 114
 - 6.3.1 萃取蒸馏 / 114
 - 6.3.2 吸附 / 115
 - 6.3.3 膜分离技术 / 115
 - 6.3.4 超临界和次临界流体萃取 / 115
- 6.4 生物炼制产品的生物活性和营养价值 / 116
 - 6.4.1 副产品的抗病功能 / 116
 - 6.4.2 食品应用 / 117
 - 6.4.3 替代医学 / 118
- 6.5 现代高效运输技术——毫超微包囊法 / 118
 - 6.5.1 关于生物产品稳定性、生物利用率及毒性的争议 / 118
- 6.6 总结与展望 / 119
- 参考文献 / 120

第7章 利用超临界技术从甘蔗加工残留物中生产有价值的化合物 / 125

- 7.1 介绍 / 125
- 7.2 滤饼的超临界流体萃取 / 126
 - 7.2.1 超临界流体萃取 / 126
 - 7.2.2 从滤饼中萃取长链脂肪酸 / 127
- 7.3 评估萃取的制造成本的过程模拟 / 129
 - 7.3.1 过程模拟 / 129
 - 7.3.2 生产成本 / 130
 - 7.3.3 甘蔗蜡的生产成本估算 / 130
- 7.4 亚/超临界流体水解甘蔗渣 / 134
 - 7.4.1 生物质转化 / 134
 - 7.4.2 多糖水解 / 135
 - 7.4.3 水热电解 / 136
 - 7.4.4 甘蔗渣的水热电解 / 137
- 7.5 总结 / 138
- 参考文献 / 138

第8章 柑橘加工过程中的增值型生物产品 / 144

- 8.1 引言 / 144
- 8.2 水果加工及副产品流 / 144
 - 8.2.1 干橘皮颗粒和橘皮糖蜜中的多糖组成 / 145
 - 8.2.2 干橘皮颗粒和橘皮糖蜜中的植物化学品组成 / 147
- 8.3 增值产品-多糖 / 153
 - 8.3.1 膳食纤维 / 153
 - 8.3.2 橘皮水解和乙醇生产 / 154
 - 8.3.3 特性果胶 / 155
- 8.4 增值性产品: 植物化学品 / 155
 - 8.4.1 黄酮苷类化合物 / 155
 - 8.4.2 多甲氧基黄酮(PMFs) / 156
 - 8.4.3 羟基肉桂酸 / 159
- 8.5 增强型副产品的发酵生产 / 160
- 8.6 结论 / 160
- 参考文献 / 161

第9章 动物饲料用叶蛋白的回收及其高价值应用 / 171

- 9.1 引言 / 171

- 9.2 蛋白质的分离方法 / 173
 - 9.2.1 机械压榨 / 173
 - 9.2.2 水相萃取 / 175
 - 9.2.3 叶/茎分离 / 176
 - 9.2.4 发酵后回收 / 177
- 9.3 蛋白浓缩 / 177
 - 9.3.1 蒸汽喷射 / 178
 - 9.3.2 酸沉降 / 178
 - 9.3.3 超滤 / 178
 - 9.3.4 喷雾干燥 / 179
- 9.4 叶蛋白的用途 / 179
 - 9.4.1 动物饲养 / 179
 - 9.4.2 人类食用 / 180
 - 9.4.3 酶生产 / 181
 - 9.4.4 生物基化学品 / 181
- 9.5 叶蛋白与生物燃料的共加工 / 182
 - 9.5.1 生物燃料共加工的优点 / 182
 - 9.5.2 共加工的经济分析 / 183
- 9.6 结论 / 184
- 参考文献 / 184

第 10 章 藻类植物化学品 / 191

- 10.1 介绍 / 191
 - 10.1.1 藻类植物化学品 / 192
 - 10.1.2 藻生物质的利用 / 194
- 10.2 藻类植物化学品的商业应用 / 195
 - 10.2.1 蛋白质 / 197
 - 10.2.2 油脂(多元不饱和脂肪酸) / 197
 - 10.2.3 维生素 / 200
 - 10.2.4 类胡萝卜素 / 200
 - 10.2.5 藻胆蛋白 / 203
 - 10.2.6 藻胶 / 203
 - 10.2.7 藻类生物肥料 / 204
- 10.3 藻类植物化学品的生产技术 / 205
 - 10.3.1 微藻类生物质产品 / 205
 - 10.3.2 大型藻类生物质的生产 / 207

- 10.3.3 针对植物化学品的藻类生产技术 / 209
- 10.3.4 生物炼制概念 / 209
- 10.4 藻类植物化学品的提取技术 / 210
 - 10.4.1 预处理过程 / 211
 - 10.4.2 溶剂萃取 / 211
 - 10.4.3 超临界流体萃取 / 211
 - 10.4.4 膨胀床吸附层析 / 212
 - 10.4.5 加压液体萃取 / 213
 - 10.4.6 商业化植物化学品提取中的单元操作 / 213
- 10.5 代谢工程与藻类衍生化合物的合成 / 214
 - 10.5.1 培养条件的控制 / 215
 - 10.5.2 细胞核与叶绿体转化技术 / 216
 - 10.5.3 重组蛋白的表达 / 216
 - 10.5.4 增强型脂肪酸的生物合成 / 217
 - 10.5.5 微藻营养型的转变 / 217
 - 10.5.6 捕光天线复合物的再设计 / 217
- 10.6 植物化学品市场的演化 / 218
- 10.7 结论 / 219
- 参考文献 / 220

第 11 章 从加拿大北方森林中分离新型生物活性天然产物 / 235

- 11.1 介绍 / 235
- 11.2 从加拿大北方森林中鉴定新型生物活性天然产物 / 237
 - 11.2.1 树种的选择和生物引导的分离过程 / 237
 - 11.2.2 从纸皮桦的树皮内皮中提取二芳基庚烷 / 238
 - 11.2.3 从美洲落叶松中分离半日花烷型双萜烯 / 239
 - 11.2.4 从美洲山杨的芽苞中分离酚类化合物 / 240
 - 11.2.5 从香脂冷杉中分离倍半萜稀 / 242
- 11.3 从加拿大北方森林中分离的生物活性天然产物的化学修饰 / 243
- 11.4 结论 / 246
- 参考文献 / 247

第 12 章 桦树皮中生物活性化合物的加压流体萃取以及分析 / 254

- 12.1 引言 / 254
- 12.2 桦树皮的定性分析 / 256

- 12.2.1 抗氧化剂分析实验 / 256
- 12.2.2 抗菌活性 / 259
- 12.2.3 抗癌活性 / 260
- 12.3 树皮中生物活性化合物的定量分析 / 261
 - 12.3.1 萜类 / 261
 - 12.3.2 碳水化合物 / 262
 - 12.3.3 黄酮类 / 263
- 12.4 用二极管矩阵进行高效液相色谱, 抗氧化剂的电化学和质谱检测 / 264
- 12.5 生物活性化合物的萃取 / 266
 - 12.5.1 传统的固液萃取法 / 266
 - 12.5.2 超临界流体萃取法(SFE) / 266
 - 12.5.3 加压流体萃取(PFE) / 268
- 12.6 讨论和前景 / 271
- 参考文献 / 272

第 13 章 富含半纤维素的预制浆提取液林木整合生物炼制与增值 / 281

- 13.1 引言 / 281
 - 13.1.1 为何选择半纤维素 / 282
 - 13.1.2 增加收益 / 282
 - 13.1.3 半纤维素的潜力 / 283
- 13.2 半纤维素的回收 / 283
 - 13.2.1 半纤维素的提取与现有制浆过程的整合 / 283
 - 13.2.2 热水提取的应用 / 287
- 13.3 半纤维素的转化 / 288
 - 13.3.1 半纤维素低聚物的水解 / 288
 - 13.3.2 发酵生产醇类 / 288
 - 13.3.3 转化半纤维素提取物生产甘油三酯(TAGs) / 291
 - 13.3.4 通过羧酸盐平台为半纤维素提质 / 291
 - 13.3.5 转化生成十三烷 / 295
 - 13.3.6 发酵生成大众化学品 / 296
- 13.4 过程的经济性 / 296
 - 13.4.1 将半纤维素提取整合到现有的纸浆厂中 / 296
 - 13.4.2 提取的能耗成本 / 297
- 13.5 结论 / 298
- 参考文献 / 298

第 14 章 来自温带森林的热裂解生物质油：燃料、植物素和生物产品 / 303

- 14.1 简介 / 303
- 14.2 森林原料综述 / 303
 - 14.2.1 残渣 / 303
 - 14.2.2 植物素及其原料分布 / 304
 - 14.2.3 生物活性及其在林业中的应用 / 305
- 14.3 热裂解技术 / 308
- 14.4 燃料生产的前景 / 308
- 14.5 生物质油中的化学品 / 309
- 14.6 昂贵化学品的回收过程 / 310
 - 14.6.1 糖类 / 310
 - 14.6.2 酚类 / 312
- 14.7 从热裂解生物质油中挑选出来的植物素 / 312
- 14.8 其他产物 / 313
- 14.9 未来展望 / 314
- 参考文献 / 314

第 15 章 来源于甘蔗渣的炭 / 318

- 15.1 引言 / 318
- 15.2 甘蔗渣的可利用性 / 320
- 15.3 在惰性气体中的热处理过程(热解) / 321
- 15.4 炭转化成活性炭的技术 / 322
- 15.5 炭与活性炭的表征和应用 / 323
- 15.6 甘蔗渣炭和活性炭的用途 / 333
 - 15.6.1 燃料 / 333
 - 15.6.2 土壤改良和碳固定 / 333
 - 15.6.3 环境和工业上的应用 / 334
- 15.7 结论 / 335
- 参考文献 / 335